

SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND LIGHT AMPLIFIER

Patent number: JP2003168844
Publication date: 2003-06-13
Inventor: SAIKI KIYOHIDE; HAMADA KATSUHIKO; FUJITA TAKESHI; YOSHIDA YASUAKI; SHIGIHARA KIMIO; HATTA TATSUO
Applicant: MITSUBISHI ELECTRIC CORP
Classification:
 - **International:** H01S5/14; H01S3/094; H01S3/0941; H01S5/00; H01S5/022; H01S5/34; H01S5/00; H01S3/094; H01S3/0941; (IPC1-7): H01S5/14; H01S3/10
 - **European:** H01S5/14D; Y01N10/00
Application number: JP20010367479 20011130
Priority number(s): JP20010367479 20011130

Also published as:

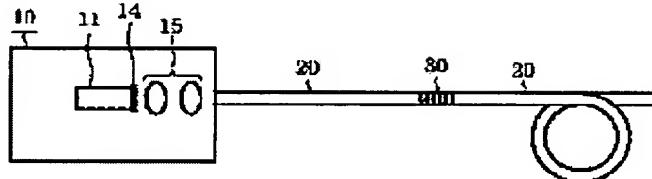
 EP1318580 (A2)
 US6819688 (B2)
 US2003103544 (A1)
 EP1318580 (A3)
 CA2371504 (A1)

Report a data error here**Abstract of JP2003168844**

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem that a temperature control mechanism composed of a temperature monitor, a temperature controller, and a cooler, etc., is required so as to fix an oscillation wavelength and constitution is complicated.

SOLUTION: A semiconductor laser device is provided with an optical fiber 20 for guiding laser beams where an optical fiber grating 30 is formed; and a pump laser module 10 constituted of a semiconductor laser element 11 with an SQW active layer 41 for emitting the laser beam, and a coupling optical system 15 for coupling the laser beam emitted from the semiconductor laser element 11 to the optical fiber 20.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-168844

(P2003-168844A)

(43)公開日 平成15年6月13日 (2003.6.13)

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/14
3/10

識別記号

F I

H 0 1 S 5/14
3/10

デマコード* (参考)

5 F 0 7 2
Z 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数15 O.L (全 13 頁)

(21)出願番号

特願2001-367479 (P2001-367479)

(22)出願日

平成13年11月30日 (2001.11.30)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 濑井 清秀

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 浜田 雄彦

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外1名)

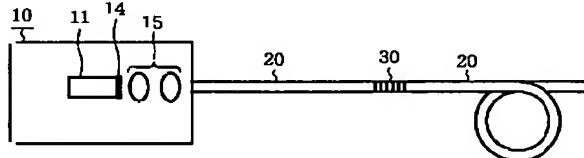
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置および光增幅装置

(57)【要約】

【課題】 発振波長を一定に保つために、温度モニタ、温度制御器および冷却器などからなる温度制御機構が必要になり、構成が複雑になってしまうという課題があった。

【解決手段】 光ファイバグレーティング30が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ20と、SQW活性層41を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子11と、半導体レーザ素子11から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系15とから構成されるポンプレーザモジュール10とを備えるようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、单一量子井戸からなる活性層を有し、上記レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、上記半導体レーザ素子から出射した上記レーザ光を上記光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、量子結合が発生する間にまで狭められた少なくとも2つの量子井戸からなる活性層を有し、上記レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、上記半導体レーザ素子から出射した上記レーザ光を上記光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】 結合光学系は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを備えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 光ファイバグレーティングは、半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、その反射波長帯域が設定されることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】 結合光学系は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを備え、光ファイバグレーティングは、上記半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、その反射波長帯域が設定されることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】 結合光学系は、半導体レーザ素子からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズと、上記狭帯域フィルタから出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズとを備えることを特徴とする請求項3または請求項5記載の半導体レーザ装置。

【請求項7】 半導体レーザ素子は、約10%以下の反射率に設定された反射防止膜をレーザ光出射面に備えることを特徴とする請求項1から請求項6のうちのいずれか1項記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】 反射防止膜は、光ファイバグレーティングの反射率よりも低い反射率に設定されることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】 半導体レーザ素子は、单一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を上記光ガイド層

の外側に備えることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】 半導体レーザ素子は、活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】 半導体レーザ素子は、8nm以下の間隔で形成された少なくとも2つの量子井戸を有することを特徴とする請求項2または請求項3記載の半導体レーザ装置。

【請求項12】 光ファイバグレーティングは、少なくとも5nm以上の反射帯域を有することを特徴とする請求項3または請求項5記載の半導体レーザ装置。

【請求項13】 狹帯域フィルタは、上記狭帯域フィルタへ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど90°に近づくように、上記狭帯域フィルタへの入射角を調整する入射角調整機構を備えることを特徴とする請求項3または請求項5記載の半導体レーザ装置。

【請求項14】 半導体レーザ素子は、单一量子井戸の活性層を10nmから25nmまでの厚さに形成されることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ装置。

【請求項15】 請求項1から請求項14のうちのいずれか1項記載の半導体レーザ装置と、上記半導体レーザ装置が出射した励起光と信号光とを結合する励起光/信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成され、上記励起光/信号光結合手段からの上記励起光によって励起されて上記励起光/信号光結合手段からの上記信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えることを特徴とする光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体レーザ素子から出射したレーザ光の発振波長変動を光ファイバグレーティングで抑制する半導体レーザ装置に係るものであり、またこの発明は、この半導体レーザ装置を用いた光増幅装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図11は従来の半導体レーザ装置の構成を示す図である。図11において、110はレーザ光を出射するポンプレーザモジュール、120はポンプレーザモジュール110からのレーザ光を導波する光ファイバ、130は光ファイバ120に形成された光ファイバグレーティングである。

【0003】また図11のポンプレーザモジュール110において、111は980nm帯の半導体レーザ素子、112はポンプレーザモジュール110の温度をモニタする温度モニタ、113は温度モニタ112のモニ

タ結果に応じてポンプレーザモジュール110の温度を一定に保つ冷却器、115は半導体レーザ素子111の出力光を光ファイバ120へ結合する結合光学系である。

【0004】980nm帯のレーザ光は、EDFA（エルビウム・ドープ・ファイバ・アンプ）の励起に用いられる。この励起の際に、レーザ光の発振波長が変動するとEDFAの利得波長特性も変動してしまうため、利得波長特性の変動対策としてポンプレーザモジュール110の出力に光ファイバグレーティング130を設けている。

【0005】図12は半導体レーザ素子111の構造例を示す図である。図12において、111aはn電極、111bはGaAs基板、111cはnクラッド層、111dは多重量子井戸（MQW）活性層、111eはpクラッド層、111fはp電極である。従来の半導体レーザ装置では、MQW活性層111dを有する半導体レーザ素子111を用いている。

【0006】図13は半導体レーザ素子111のMQW活性層111d付近におけるエネルギー・バンド構造を示す図である。図13において、142は伝導帯、143は価電子帯、146A、146Bはそれぞれ量子井戸、147はバリア層、144はガイド層、145はクラッド層である。量子井戸146A、146BはIn組成0.2のInGaAsから、バリア層147はAl組成0.2のAlGaAsから、ガイド層144はAl組成0.2のAlGaAsから、クラッド層145はAl組成0.48のAlGaAsからそれぞれ形成されている。

【0007】MQW活性層111dの井戸数は通常2～4個、量子井戸146A、146Bの厚さL_zは5nm～15nmであり、またバリア層147の厚さL_bは10nm～50nm、ガイド層144の厚さは10nm～500nmである。上記のAlGaAsのAl組成は、光閉じ込めの観点から0.0～0.5の間で調整される。

【0008】p電極111fとn電極111aとの間に順方向へ電流が流れ、電子とホールとをMQW活性層111dへ注入して反転分布が形成されることにより、MQW活性層111dのバンドギャップで決まる980nm帯の発振波長で半導体レーザ素子111はレーザ発振し、結合光学系115を介して光ファイバ120へレーザ光を出射する。

【0009】一般に半導体レーザ素子はバンド間遷移を利用するため広い波長範囲（～10数nm）にわたって利得を持ち、個々の素子や温度変化によって半導体レーザ素子111の発振波長が異なったり変化したりするのだが、従来の半導体レーザ装置では、外部共振器としての光ファイバグレーティング130により半導体レーザ装置の発振波長の変動を抑制することができる。この光

ファイバグレーティング130を備えた半導体レーザ装置の詳細については、例えば次の＜文献1＞に開示されている。

【0010】＜文献1＞Martin Achtenhagen, et al: "L-I Characteristics of Fiber Bragg Grating Stabilized 980-nm Pump Lasers", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 13, NO. 5 MAY 2001

【0011】しかしながら、半導体レーザ素子111の自己発熱や周囲の温度変化によって、ポンプレーザモジュール110の温度が大きく変化すると、閾値利得分布の波長特性も変化する。一方、光ファイバグレーティング130の波長特性は固定されたままなので、外部共振モードで発振しなくなり、発振波長を一定に保つことができなくなってしまう。

【0012】このため、図11の半導体レーザ装置には温度制御機構を設けている。すなわち従来の半導体レーザ装置は、ポンプレーザモジュール110の温度を温度モニタ112でモニタし、不図示の温度制御器によって冷却器113への電流を制御してポンプレーザモジュール110の温度を一定に保つように構成されている。このようにして、発振波長を安定化しており、EDFAに適用した場合の利得波長特性の変動を抑制している。なお、関連する従来の技術としては、例えば特開2000-353856号公報などが挙げられる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】従来の半導体レーザ装置は以上のように構成されているので、発振波長を一定に保つために、温度モニタ、温度制御器および冷却器などからなる温度制御機構が必要になり、構成が複雑になってしまうという課題があった。

【0014】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、温度制御機構を要することなく、簡単な構成で発振波長を一定に保つことが可能な半導体レーザ装置を提供することを目的とする。

【0015】また、この発明は、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制できる半導体レーザ装置を提供することを目的とする。

【0016】さらに、この発明は、上記の半導体レーザ装置を励起用光源として備えて利得波長特性の変動を抑制した光增幅装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、单一量子井戸からなる活性層を有し、レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子から出射したレーザ光を

光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えるようにしたものである。

【0018】この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングが形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバと、量子結合が発生する間隔にまで狭められた少なくとも2つの量子井戸からなる活性層を有し、レーザ光を出射する半導体レーザ素子と、半導体レーザ素子から出射したレーザ光を光ファイバへ結合する結合光学系とから構成されるポンプレーザモジュールとを備えるようにしたものである。

【0019】この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを結合光学系が備えるようにしたものである。

【0020】この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティングの反射波長帯域が設定されるようにしたものである。

【0021】この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタを結合光学系が備え、半導体レーザ素子の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティングの反射波長帯域が設定されるようにしたものである。

【0022】この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズと、狭帯域フィルタから出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズとを結合光学系が備えるようにしたものである。

【0023】この発明に係る半導体レーザ装置は、約10%以下の反射率に設定された反射防止膜を半導体レーザ素子がレーザ光出射面に備えるようにしたものである。

【0024】この発明に係る半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティングの反射率よりも低い反射率に反射防止膜が設定されるようにしたものである。

【0025】この発明に係る半導体レーザ装置は、单一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を半導体レーザ素子が光ガイド層の外側に備えるようにしたものである。

【0026】この発明に係る半導体レーザ装置は、半導体レーザ素子の活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されるようにしたものである。

【0027】この発明に係る半導体レーザ装置は、8nm以下の間隔で形成された少なくとも2つの量子井戸を半導体レーザ素子が有するようにしたものである。

【0028】この発明に係る半導体レーザ装置は、少なくとも5nm以上の反射帯域を光ファイバグレーティン

グが有するようにしたものである。

【0029】この発明に係る半導体レーザ装置は、狭帯域フィルタへ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど90°に近づくように、狭帯域フィルタへの入射角を調整する入射角調整機構を狭帯域フィルタが備えるようにしたものである。

【0030】この発明に係る半導体レーザ装置は、単一量子井戸の活性層を10nmから25nmまでの厚さに半導体レーザ素子が形成されるようにしたものである。

【0031】この発明に係る光増幅装置は、請求項1から請求項14のうちのいずれか1項記載の半導体レーザ装置と、半導体レーザ装置が射出した励起光と信号光とを結合する励起光/信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成され、励起光/信号光結合手段からの励起光によって励起されて励起光/信号光結合手段からの信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えるようにしたものである。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図1において、10はレーザ光を出射するポンプレーザモジュール、20はポンプレーザモジュール10からのレーザ光を導波する光ファイバ、30は光ファイバ20に形成された光ファイバグレーティングである。

【0033】また図1のポンプレーザモジュール10において、11は单一量子井戸(SQW)活性層を有する半導体レーザ素子、14は半導体レーザ素子11のレーザ光出射面に設けられた反射防止膜、15は半導体レーザ素子11のレーザ光出射面から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系である。

【0034】従来の半導体レーザ装置と比較すると分かるように、図1のポンプレーザモジュール10には、SQW活性層の半導体レーザ素子11を用いている。また、ポンプレーザモジュール10の温度をモニタするための温度モニタや、ポンプレーザモジュール10の温度を一定に保つ冷却器などの温度制御機構が設けられていない。

【0035】図2は半導体レーザ素子11のSQW活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。図2において、41はSQW活性層、42は伝導帯、43は価電子帯、44はガイド層、45はクラッド層である。SQW活性層41はInGaAsから、ガイド層44はAlGaAsから、クラッド層45はAlGaAsからそれぞれ形成されている。

【0036】半導体レーザ素子11のSQW活性層41の厚さ l_z は10nm～25nmでこの例では18nm、またガイド層44の厚さは10nm～500nmで

ある。AlGaAsのAl組成は光閉じ込めの観点から0.0~0.5の間で調整される。

【0037】この発明の半導体レーザ装置の特長は次の2点である。

＜特長1＞ 半導体レーザ素子11の発振波長が異なったり変化した場合、従来と同様に、光ファイバグレーティング30によって発振波長を一定に保つことができる。

＜特長2＞ ポンプレーザモジュール10の温度が大きく変化した場合、従来と異なって、温度制御機構を設けることなく広い温度変化範囲にわたって発振波長を一定に保つことができる。これは後述するように、半導体レーザ素子11の利得スペクトル幅が広いからであり、このため光ファイバグレーティング30の波長ロックを外れにくしたことによるものである。

【0038】まず、＜特長1＞の動作原理について一般的に説明する。図3は光ファイバグレーティングによって発振波長が一定に保たれる動作を説明するための図である。図3(a)は電流変化に対する利得スペクトルの

$$\Gamma \cdot G = \alpha + 0.5 L \cdot 1n [1 / (R_f \cdot R_r)] \quad (1)$$

【0042】さらに図3(a)、図3(b)の符号G_{f,g}で示される共振器利得Gの折れ曲がった部分は、光ファイバグレーティングを半導体レーザ装置の出力に設けた場合のモード利得である。光ファイバグレーティン

$$\Gamma \cdot G_{f,g} = \alpha + 0.5 L \cdot 1n [1 / (R_{e,f,f} \cdot R_r)] \quad (2)$$

【0044】式(1)、式(2)において、損失 α は1~20cm⁻¹、共振器長Lは500μm~3000μm、前面反射率R_fは10%以下、等価的前面反射率R_{e,f,f}は20%以下、後面反射率R_rは80%以上、光閉じ込め係数 Γ は0.001~0.1である。ここで例では、 $\alpha = 4 \text{ cm}^{-1}$ 、L = 900 μm、R_f = 1%、R_{e,f,f} = 4%、R_r = 98%、 $\Gamma = 0.0175$ であり、このときG = 1700 cm⁻¹、G_{f,g} = 1260 cm⁻¹となる。

【0045】光ファイバグレーティングを設けていない場合、利得スペクトルS₂の最大値とモード利得Gとが一致する波長 λ_1 で半導体レーザ素子は発振する。一方、光ファイバグレーティングを設けた場合には、利得スペクトルS₂よりも電流の小さな利得スペクトルS₁とモード利得G_{f,g}とが一致する注入電流で半導体レーザ素子は発振し、その発振波長は光ファイバグレーティングの反射波長 $\lambda_{f,g}$ 、例えば980 nmとなる。実施の形態1および実施の形態2では980 nm帯のポンプレーザモジュールの例を示したが、他の波長帯、例えば1480 nm帯のポンプレーザモジュールにも適用できる。

【0046】ここで温度が上昇すると、図3(b)に示すように、利得スペクトルS₁は利得スペクトルS₄、S₅へと変化していくが、光ファイバグレーティングによって半導体レーザ素子の発振波長は一定の波長 $\lambda_{f,g}$

変化を、図3(b)は温度変化に対する利得スペクトルの変化をそれぞれ模式的に表している。なお横軸は波長(nm)、縦軸は利得(cm⁻¹)である。

【0039】図3(a)、図3(b)において、S₁~S₇は半導体レーザ素子の利得スペクトルである。図3(a)では、ある電流値における利得スペクトルS₁が電流値の増加とともに利得スペクトルS₂、利得スペクトルS₃へと順次変化している。なお後で図示するように、利得スペクトルS₁~S₇は複雑な形をしているが、説明のため簡略化した形状としている。

【0040】また図3(a)、図3(b)の符号Gで示される直線は、半導体レーザ素子単独の場合の共振器利得である。ここで半導体レーザ素子単独とは、光ファイバグレーティングを半導体レーザ装置の出力に設けていない場合を意味する。半導体レーザ素子の損失を α 、共振器長をL、前面反射率をR_f、後面反射率をR_r、光閉じ込め係数を Γ とすると、共振器利得Gは次の式(1)で表される。

【0041】

グを設けた場合の半導体レーザ素子の等価的な前面反射率R_{e,f,f}を用いると、モード利得G_{f,g}は次の式(2)で表される。

【0043】

でロックされた状態となる。ただし、利得スペクトルS₅では発振波長は $\lambda_{f,g}$ と λ_2 の競合状態となる。

【0047】さらに高温になって、モード利得Gを越える最大値を持った利得スペクトルS₆の状態になると、最大値が共振器利得Gと等しい利得スペクトルS₇の電流値の方が利得スペクトルS₆の場合よりも小さいため、光ファイバグレーティングによるロックが外れ、利得スペクトルS₇と共振器利得Gとの一致する波長 λ_3 で発振するようになる。

【0048】なお、上記の計算例からわかるように、半導体レーザ素子の光出射面に設けた反射防止膜の反射率R_fを低反射(特に10%以下)とすることによって、半導体レーザ素子単独の場合のモード利得Gと、光ファイバグレーティングがある場合のモード利得G_{f,g}との差を大きくすることができるので、光ファイバグレーティングによる波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができる。

【0049】ところで、図3(b)での説明から分かるように、980 nm帯付近における利得スペクトル幅が広く利得スペクトルの山が平坦なほど、波長ロックの温度変化範囲を広くすることができる。一般にMQW活性層の半導体レーザ素子は、利得スペクトルの半価幅が狭いため単一モード発振を得やすいという利点があるが、光ファイバグレーティングによる波長ロックの観点から考えた場合には、上記の理由から不利が生じる。

【0050】以上のことと踏まえて、SQW活性層の半導体レーザ素子11を備えたこの実施の形態1による半導体レーザ装置において、波長ロック可能な温度範囲が広がる理由、つまり<特長2>について次に説明する。

【0051】図4はこの発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の効果を説明するための図であり、横軸は波長(nm)、縦軸は利得(cm⁻¹)である。図4(a)は井戸の厚さが8nm場合の利得スペクトルの計算例、図4(b)は井戸の厚さが18nm場合の利得スペクトルの計算例で、従来のMQW活性層111dの利得スペクトル、この発明のSQW活性層41の利得スペクトルにそれぞれ対応している。

【0052】図4の6本の曲線は下からキャリア濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $3.1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ まで $6.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 間隔で変えた場合のスペクトルを示しており、波長980nmにおける利得が、例えば 1600 cm^{-1} となる場合(図3の例)が発振状態のスペクトルに相当する。図4(a)と図4(b)とを比較すると分かるように、MQW活性層111dの発振状態における980nm付近の利得スペクトル幅は狭く、波長に対する変化が急峻であり、これに対してSQW活性層41の980nm帯付近の利得スペクトル幅はe2-h2遷移の影響を受けて広く平坦になっている。このため、前述した理由(段落番号0049の「利得スペクトル幅が広く利得スペクトルの山が平坦なほど、波長ロックの温度変化範囲を広くすることができる」)により、図1の半導体レーザ装置は、広い温度範囲にわたってレーザ光の発振波長を一定に保つことができる。

【0053】つまり、一般にMQW活性層の半導体レーザ素子は、その利得スペクトルの半値幅が狭いことにより単一モード発振しやすいという利点があり、一方SQW活性層の半導体レーザ素子は単一モード発振しにくいという欠点がある。しかしながら、光ファイバグレーティング30による波長ロックにあっては、上記の利点と欠点とは逆の関係になる。この実施の形態1では、通常は欠点となるSQW活性層の利得スペクトルの半値幅が広く平坦であることを利用して、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げている。

【0054】このようにすることで、従来の半導体レーザ装置と異なり、温度制御機構を備えることなく、簡単な構成で広い温度範囲にわたって発振波長変動を抑制することができる。また、温度制御機構を備えるようにした場合であっても、発振波長の変動を抑制するための温度制御機構が従来よりも低い温度制御分解能または低能力のもので済むようになり、加えて、半導体レーザ素子11の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できるという利点がある。

【0055】以上のように、この実施の形態1によれ

ば、光ファイバグレーティング30が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ20と、SQW活性層41を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子11と、半導体レーザ素子11から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系15とから構成されるポンプレーザモジュール10とを備えるようにしたので、従来と比較して広い温度範囲にわたるレーザ光の発振波長を一定に保つことができるようになり、温度制御機構が不要になって簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られ、温度制御機構を要した場合にも、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制でき、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できる。

【0056】また、この実施の形態1によれば、反射率10%以下の反射防止膜14を半導体レーザ素子11のレーザ光出射面に備えるようにしたので、光ファイバグレーティング30による波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができる。

【0057】さらに、この実施の形態1によれば、光ファイバグレーティング30の反射率よりも低い反射率に反射防止膜14が設定されるようにしたので、光ファイバグレーティング30による波長ロック状態をより広い温度範囲にわたって保つことができるという効果が得られる。

【0058】さらに、この実施の形態1によれば、単一量子井戸の活性層を10nmから25nmまでの厚さに半導体レーザ素子11が形成されるようにしたので、单一量子井戸の活性層の利得スペクトルの半値幅を広く平坦にすることでき、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げることができるという効果が得られる。

【0059】実施の形態2、図5はこの発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図1と同一符号は同一または相当する構成を表している。図5において、16は結合多重量子井戸(結合MQW)活性層を有する半導体レーザ素子である。

【0060】図6は半導体レーザ素子16の結合MQW活性層付近におけるエネルギー・バンド構造を示す図である。図2と同一符号は同一または相当する構造を示している。図6において、46A、46BはそれぞれIn組成0.2のInGaAsからなる量子井戸、47はAl組成0.2のAlGaAsからなるバリア層、48は2つの量子井戸46A、46Bが結合した結合MQW活性層である。

【0061】結合MQW活性層48の量子井戸46A、46Bの厚さL_zは5nm～15nm、バリア層47の厚さL_bは0.1nm～8nm、ガイド層44の厚さは10nm～500nmである。この例では、L_z=8nm

m, バリア層47の厚さ $L_b = 3\text{ nm}$ 、ガイド層44の厚さ=50 nmある。A1組成など他の条件は図2と同等である。

【0062】実施の形態1と同様に、この実施の形態2による半導体レーザ装置は、光ファイバグレーティング30を備えているため<特長1>を有している。加えて、半導体レーザ素子16のバリア層47幅を3 nmとして量子結合を発生させるように狭めているので、トンネル効果による準位の相互作用によって準位が分裂し、半導体レーザ素子16の利得スペクトルが広がるようになる。つまり実施の形態1と同様に、この実施の形態2の半導体レーザ装置は<特長2>も有している。

【0063】また、結合MQW活性層48を用いるので、量子井戸46A, 46Bの厚さ L_z を臨界膜厚以下に薄くしても、十分な光閉じ込め係数を容易に得ることができ、設計の自由度を向上することができる。ここで臨界膜厚とは、活性層と基板との格子定数が異なっても結晶欠陥が発生することのない限界の活性層厚のことである。これ以上の厚さでは結晶欠陥が発生するため、InGaAsのようにGaAsと異なる格子定数を持つ材料を活性層に用いる場合、重要な指標である。

【0064】この実施の形態2では、臨界膜厚以下の量子井戸46A, 46Bを用いるので、機械的な応力による結晶欠陥発生の問題がなく、初期特性の劣化や動作中の光出力の低下、発振停止などの故障が起こることのない、信頼性の高い半導体レーザ装置が得られる。

【0065】次に、この実施の形態2による結合MQW活性層48の半導体レーザ素子16を用いると波長ロック可能な温度範囲が広がる理由について説明する。図7はこの発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の効果を説明するための図であり、図7(a)は井戸の厚さ L_z が8 nm場合の単一量子井戸のバンド構造、図7(b)はトンネル効果による結合が量子井戸間にある場合のバンド構造である。図7(a), 図7(b)は従来の図13における多重量子井戸半導体レーザの活性層111dとこの発明の図6における半導体レーザ素子16の結合MQW活性層48にそれぞれ対応しており、図7(b)では井戸の厚さ L_z が8 nm, バリア層の厚さ L_b が3 nmと狭くなっている。

【0066】図7(a), 図7(b)において、51は電子のバンド、52Hはヘビーホールのバンド、52Lはライトホールのバンド、53および54はそれぞれ電子の第1サブバンドおよび第2サブバンド、55および56はそれぞれヘビーホールの第1サブバンドおよび第2サブバンド、57および58はそれぞれライトホールの第1サブバンドおよび第2サブバンド、59はバリア層である。

【0067】例えば下記の<文献2>で説明されているように、図7(a)では、電子の第1サブバンド53とヘビーホールの第1サブバンド55の遷移($e1-hh$

1)と、電子の第1サブバンド53とライトホールの第1サブバンド57の遷移($e1-1h1$)とが許容され、一方図7(b)では、バリア層幅を3 nmと狭めたためにトンネル効果による準位の相互作用により準位が分裂し、遷移($e1-hh1$), 遷移($e1-1h1$)に加えて、電子の第2サブバンド54とヘビーホールの第2サブバンド56の遷移($e2-hh2$)と電子の第2サブバンド54とライトホールの第2サブバンド58の遷移($e2-1h2$)とが許容されるようになる。

【0068】このため、図4(b)の場合と同様に、 $e1-hh1$ 遷移付近が他の遷移の影響を受けて平坦になるため、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げることができる。

【0069】<文献2>R. Dingle: "Confined Carrier Quantum State Ultrathin Semiconductor Heterostructure", Festkörnerprobleme XV, Advances in Solid-State Physics, p21~48 (1975)

【0070】結合MQW活性層は、利得スペクトルの半値幅が広がって単一モード発振しにくくなるため一般に用いられないが、この実施の形態2では、通常は欠点となってしまう結合MQW活性層の広い利得スペクトル半値幅を逆に利用して、光ファイバグレーティング30による波長ロック範囲を広げるようにしている。

【0071】以上のように、この実施の形態2によれば、光ファイバグレーティング30が形成されるとともに、レーザ光を導波する光ファイバ20と、結合MQW活性層を有してレーザ光を出射する半導体レーザ素子16と、半導体レーザ素子16から出射したレーザ光を光ファイバ20へ結合する結合光学系15とから構成されるポンプレーザモジュール10とを備えるようにしたので、閾値利得の波長幅を広くできるようになり、実施の形態1と同様に、広い温度範囲にわたりレーザ光の発振波長を一定に保つことができ、温度制御機構が不要になって簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られ、温度制御機構を要した場合にも、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制でき、半導体レーザ素子16の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性との組合せの管理を緩和できるという効果が得られ、基板との間で発生する格子歪を小さくすることができ、信頼性の高い素子を提供できる。

【0072】実施の形態3. 図8はこの発明の実施の形態3による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図1と同一符号は同一または相当する構成を表している。図8において、17は狭帯域フィルタである。

【0073】狭帯域フィルタ17は、結合光学系15を

構成するコリメータレンズ15Aとコンデンサレンズ15Bとの間に設けられており、SQW活性層の半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を任意の角度に組み込めるような構造を有している。また、この実施の形態3では、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバ20中の光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を設定している。

【0074】半導体レーザ素子11のレーザ光出射面に設けられた反射率10%以下の反射防止膜14を介して出射したレーザ光はコリメータレンズ15Aで平行光に変換されて狭帯域フィルタ17へ入射する。狭帯域フィルタ17を透過したレーザ光はコンデンサレンズ15Bで集光されて光ファイバ20へ入射する。

【0075】光ファイバグレーティング30の反射波長特性はグレーティングパターンを製作するときに決定されるため容易に変更できない。そこで、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を広いかまたはほぼ等しく設定し、さらに狭帯域フィルタ17に対するレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に変更できるようにしている。

【0076】のことにより、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じても、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるように、狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に調整・固定し、狭帯域フィルタ17での透過波長を所望の波長に設定できる。

【0077】以上のように、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタ17を結合光学系15が備えるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じても、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。

【0078】また、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域が設定されるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じても、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。

【0079】さらに、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11からのレーザ光の入射角を調整する構造を有した狭帯域フィルタ17を結合光学系15が備え、半導体レーザ素子11の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域が設

定されるようにしたので、半導体レーザ素子11の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じても、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるという効果が得られる。

【0080】さらに、この実施の形態3によれば、半導体レーザ素子11からのレーザ光を平行光にして狭帯域フィルタへ出射するコリメータレンズ15Aと、狭帯域フィルタ17から出射したレーザ光を光ファイバへ集光するコンデンサレンズ15Bとを結合光学系15が備えるようにしたので、半導体レーザ素子11からのレーザ光を光ファイバ20へ狭帯域フィルタ17を介して効率よく結合できるという効果が得られる。

【0081】実施の形態4、実施の形態2で示した結合MQW活性層の半導体レーザ素子16に実施の形態3で示した狭帯域フィルタ17を適用するようにしても良く、実施の形態3と同様の効果が得られる。図9はこの発明の実施の形態4による半導体レーザ装置の構成を示す図である。図5、図8と同一符号は同一または相当する構成を表している。

【0082】この実施の形態4でも、結合光学系15のコリメータレンズ15Aとコンデンサレンズ15Bとの間に狭帯域フィルタ17が設けられ、結合MQW活性層の半導体レーザ素子16からのレーザ光の入射角を任意の角度に組み込めるような構造を狭帯域フィルタ17は有している。また同様に、半導体レーザ素子16の3dB利得帯域幅またはスペクトラム半値幅よりも広いかまたは略等しくなるように、光ファイバ20中の光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を設定している。

【0083】半導体レーザ素子16のレーザ光出射面に設けられた反射率10%以下の反射防止膜14を介して出射したレーザ光はコリメータレンズ15Aで平行光に変換されて狭帯域フィルタ17へ入射する。狭帯域フィルタ17を透過したレーザ光はコンデンサレンズ15Bで集光されて光ファイバ20へ入射する。

【0084】光ファイバグレーティング30の反射波長特性はグレーティングパターンを製作するときに決定されるため容易に変更できない。そこで、半導体レーザ素子16の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも、光ファイバグレーティング30の反射波長帯域を広いかまたはほぼ等しく設定し、さらに狭帯域フィルタ17に対するレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に変更できるようにしている。

【0085】のことにより実施の形態3と同様に、半導体レーザ素子16の製造バラツキによって閾値利得帯域バラツキが生じても、その閾値利得帯域に最適な波長が光ファイバグレーティング30から反射できるように、狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角をモジュール組立時または調整時に調整・固定し、狭帯域フィルタ17での透過波長を所望の波長に設定できる。

【0086】実施の形態5、SQW活性層の半導体レー

ザ素子または結合MQW活性層を有する半導体レーザ素子11, 16の活性層の外部に格子間隔不整合による歪みを緩和するための層を設ける(SQW活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を光ガイド層の外側に備える)こと、あるいは活性層とバリア層、ガイド層を歪補償構造とすることによって、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げることが可能となる。

【0087】図10は歪補償構造とした半導体レーザ素子の活性層付近におけるエネルギー・バンド構造を示す図である。図10において、61は伝導体、62は価電子帯、63A, 63Bはそれぞれ量子井戸、64はバリア層、65はガイド層、66はクラッド層である。量子井戸63A, 63BはIn組成0.2のInGaAsから、バリア層64はGaAsPから、ガイド層65はGa0.8In0.2As0.62P0.38から、クラッド層66はGa0.51In0.49Pからそれぞれ形成されており、量子井戸63の厚さは8nm、バリア層64の厚さは20nm、ガイド層65の厚さは80nmある。

【0088】実施の形態2で説明したように、InGaAsはGaAs基板と異なる格子定数を持つため、結晶に歪が生じている。格子定数の差の格子定数に対する比を歪量といい、この例においては、バリア層とGaAs基板との歪量を-1.0%，量子井戸とGaAs基板との歪量を+1.4%とすることにより、基板と活性層付近の間の平均歪量を低減している。

【0089】実施の形態1または実施の形態2で示した半導体レーザ素子11, 16として、格子間隔不整合による歪みを緩和するための層または活性層とバリア層、ガイド層を歪補償構造としたSQW活性層の半導体レーザ素子または結合MQW活性層の半導体レーザ素子を使用することで、実施の形態1または実施の形態2と同様に、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光出力を実現でき、温度モニタおよび冷却器を有する場合でも、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性組合せの管理を緩和することができるという利点がある。

【0090】以上のように、この実施の形態5によれば、単一量子井戸の活性層外側の光ガイド層より屈折率が低く、かつ電流障壁にならない薄さの層を半導体レーザ素子11, 16が光ガイド層の外側に備えるようにしたので、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げることができるという効果が得られる。

【0091】また、この実施の形態5によれば、半導体レーザ素子11, 16の活性層、バリア層およびガイド層を歪補償構造に形成されるようにしたので、結晶欠陥の発生を低減することができるようになり、偶発故障率を下げるができるという効果が得られる。

【0092】実施の形態6、実施の形態2で示した結合MQW活性層の半導体レーザ素子16における少なくとも2つの量子井戸の間隔を8nm以下とすることで、量子井戸を効率よく結合させることができる。したがって、閾値利得帯域が広く、かつ高効率の半導体レーザ素子16を実現することができ、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光が得られるため、実施の形態2と同様に、光ファイバグレーティング30を備えた光ファイバ20と光学的に結合させることによって、外部共振器を構成し、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現できる。

【0093】また、実施の形態4と同様に、この半導体レーザ素子16の出射側に配置された狭帯域フィルタ17と、半導体レーザ素子16からのレーザ光が狭帯域フィルタ17を介して結合する光ファイバ20と、光ファイバ20内に配置され、反射波長帯が結合MQW半導体レーザ素子16の3dB利得帯域幅かスペクトラム半値幅よりも広いかほぼ等しい光ファイバグレーティング30を配置することで、温度調整無しに広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現できる。

【0094】温度モニタおよび冷却器を有する場合でも、半導体レーザ素子の閾値利得の製造バラツキと光ファイバグレーティング30の波長特性組合せの管理を緩和することができるという利点がある。

【0095】以上のように、この実施の形態6によれば、8nm以下の間隔で形成された少なくとも2つの量子井戸を半導体レーザ素子16が有するようにしたので、量子結合を効率良く発生させることができるという効果が得られる。

【0096】実施の形態7、実施の形態3または実施の形態4で示した光ファイバグレーティング30として、少なくとも5nm以上の反射帯域を有する光ファイバグレーティングを使用するようにしても良い。このことによって、外部共振器を構成し、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現でき、かつ1種類の光ファイバグレーティング30で半導体レーザ素子の閾値利得帯域のバラツキに対応できる。

【0097】以上のように、この実施の形態7によれば、少なくとも5nm以上の反射帯域を光ファイバグレーティング30が有するようにしたので、外部共振器を構成し、広い温度範囲で発振波長の安定したレーザ光を実現でき、かつ1種類の光ファイバグレーティング30で半導体レーザ素子の閾値利得帯域のバラツキに対応できるという効果が得られる。

【0098】実施の形態8、反射率10%以下の反射防止膜14をレーザ光出射面に施した半導体レーザ素子11, 16と、反射防止膜14の反射率よりも高い反射率の光ファイバグレーティング30を持つ光ファイバ20とを、実施の形態1または実施の形態2で示した半導体レーザ装置に使用するようにしても良い。このことによ

って、広い温度範囲で光ファイバグレーティング30と同じ波長で発振させることができる。

【0099】また、反射率10%以下の反射防止膜14をレーザ光出射面に施した半導体レーザ素子11, 16と、反射防止膜14の反射率よりも高い反射率の光ファイバグレーティング30を持つ光ファイバ20とを実施の形態3または実施の形態4で示した半導体レーザ装置に使用するようにしても良い。このことによって、実施の形態3または実施の形態4で使用する狭帯域フィルタ17の持つ波長特性に対応した波長を発振することができる。

【0100】実施の形態9. 狹帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角が高温で90°に近づくような入射角調整機構を設けるようにしても良い。例えばこの入射角調整機構は、半導体レーザ装置の温度をモニタする温度モニタと、狭帯域フィルタ17への入射角と狭帯域フィルタ17の透過特性との関係を関数化・テーブル化して記憶し、温度モニタでモニタされた温度と関数化・テーブル化された上記の関係とを参照して狭帯域フィルタ17に対する入射角を調整する制御装置とから構成される。半導体レーザ装置の温度に応じて狭帯域フィルタ17へのレーザ光の入射角を変化させ、常に一定の波長が透過するようする。

【0101】このように、狭帯域フィルタ17に対するレーザ光の入射角が高温で90°に近づくような入射角調整機構を設けることで、使用温度の上昇に伴い光ファイバグレーティング30からの反射光波長が長波長に変化し、広い温度範囲で外部共振器モード発振をさせることができ、かつ光ファイバ増幅器の利得帶内に発振波長を維持することができる。

【0102】なお、以上の各実施の形態1～9に示した半導体レーザ装置を励起光源とした光増幅装置を構成しても良い。すなわち、半導体レーザ装置が発射した励起光としてのレーザ光と、信号光としてのレーザ光とを結合する励起光／信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成される希土類添加光ファイバを励起光／信号光結合手段からの励起光によって励起して励起光／信号光結合手段からの信号光を増幅する。このようにすることで、利得波長特性の変動を抑制した光増幅装置を提供できる。

【0103】以上のように、この実施の形態9によれば、狭帯域フィルタ17へ入射するレーザ光の入射角が高温になるほど90°に近づくように、狭帯域フィルタ17への入射角を調整する入射角調整機構を狭帯域フィルタ17が備えるようにしたので、使用温度の上昇に伴い光ファイバグレーティング30からの反射光波長が長波長に変化し、広い温度範囲で外部共振器モード発振をさせることができ、かつ光ファイバ増幅器の利得帶内に発振波長を維持することができるという効果が得られる。

【0104】また、この実施の形態9によれば、この発明による半導体レーザ装置と、半導体レーザ装置が発射した励起光と信号光とを結合する励起光／信号光結合手段と、光ファイバに希土類を添加して構成され、励起光／信号光結合手段からの励起光によって励起されて励起光／信号光結合手段からの信号光を増幅する希土類添加光ファイバとを備えるようにしたので、利得波長特性の変動を抑制した光増幅装置を提供できるという効果が得られる。

【0105】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、温度制御機構を要することなく、簡単な構成で発振波長を一定に保つことができるという効果が得られる。

【0106】この発明によれば、低い温度制御分解能の温度制御機構または低能力の温度制御機構によって発振波長の変動を抑制できるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図2】 半導体レーザ素子のSQW活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図3】 光ファイバグレーティングによって発振波長が一定に保たれる動作を説明するための図である。

【図4】 この発明の実施の形態1による半導体レーザ装置の効果を説明するための図である。

【図5】 この発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図6】 半導体レーザ素子の結合MQW活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図7】 この発明の実施の形態2による半導体レーザ装置の効果を説明するための図である。

【図8】 この発明の実施の形態3による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図9】 この発明の実施の形態4による半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図10】 歪補償構造とした半導体レーザ素子の活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

【図11】 従来の半導体レーザ装置の構成を示す図である。

【図12】 半導体レーザ素子の構造例を示す図である。

【図13】 半導体レーザ素子のMQW活性層付近におけるエネルギーバンド構造を示す図である。

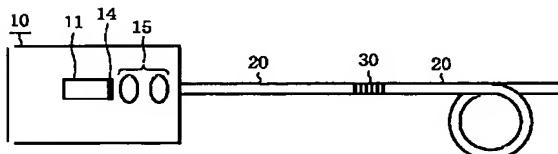
【符号の説明】

10 ポンプレーザモジュール、11 半導体レーザ素子、14 反射防止膜、15 結合光学系、15A コリメータレンズ、15B コンデンサレンズ、16 半導体レーザ素子、17 狹帯域フィルタ、20 光ファイバ、30 光ファイバグレーティング、41 SQW活性層、42 伝導帯、43 値電子帯、44 ガイド

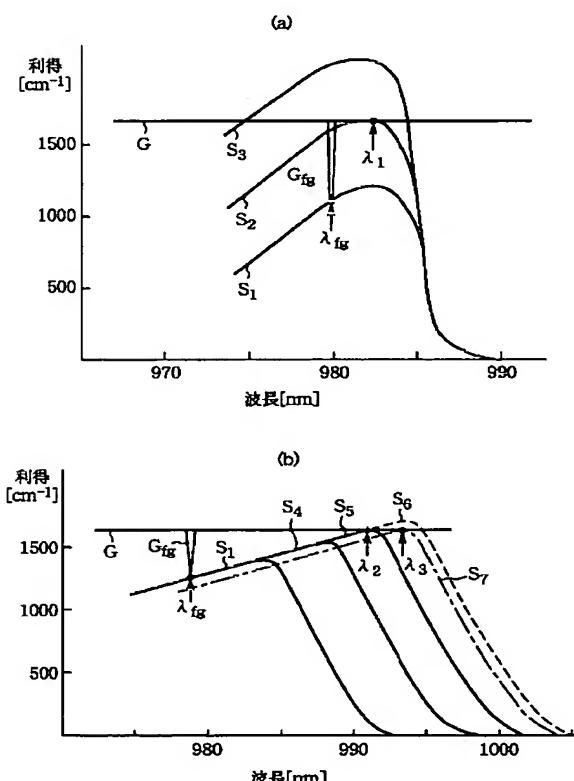
層、45 クラッド層、46A, 46B 量子井戸、47 バリア層、48 結合MQW活性層、51 電子のバンド、52H ヘビーホールのバンド、52L ライトホールのバンド、53 電子の第1サブバンド、54 電子の第2サブバンド、55 ヘビーホールの第1サブ

バンド、56 ヘビーホールの第2サブバンド、57 ライトホールの第1サブバンド、58 ライトホールの第2サブバンド、59 バリア層、61 伝導体、62 價電子帯、63 量子井戸、64 バリア層、65 ガイド層、66 クラッド層。

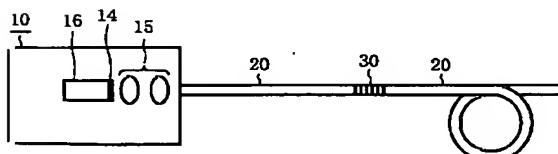
【図1】



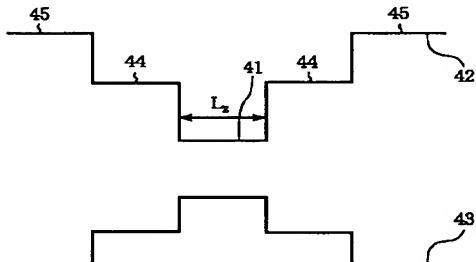
【図3】



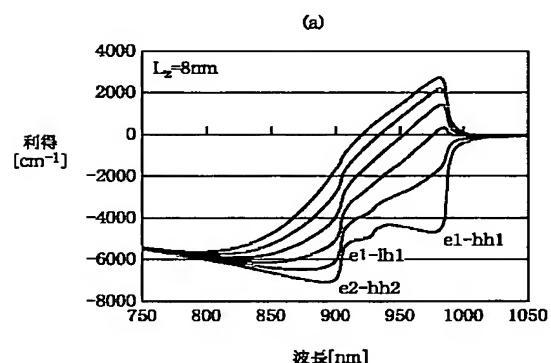
【図5】



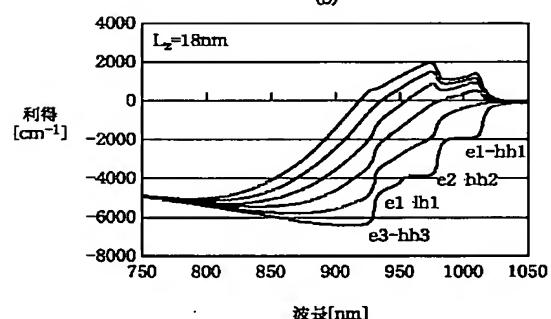
【図2】



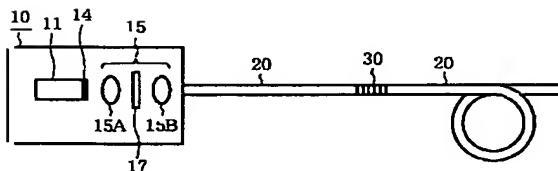
【図4】



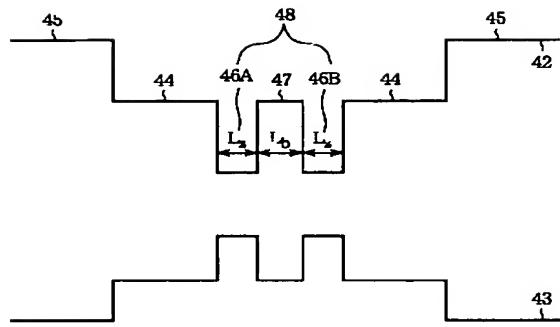
【図6】



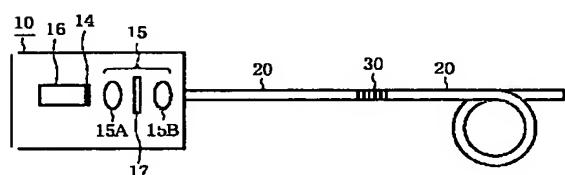
【図8】



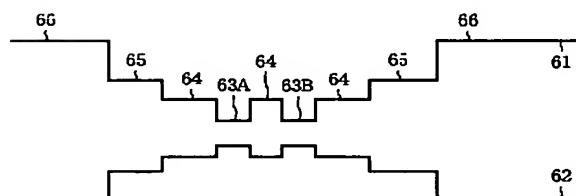
【図6】



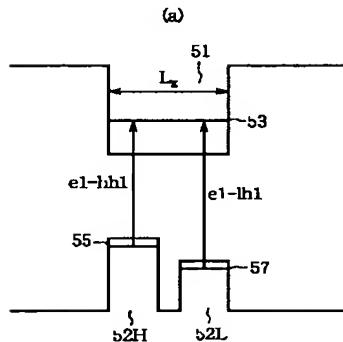
【図9】



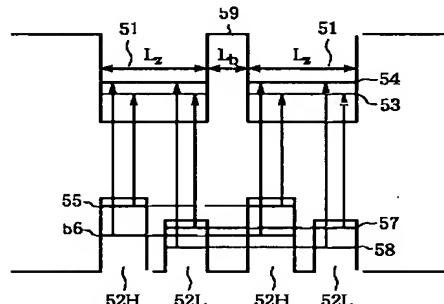
【図10】



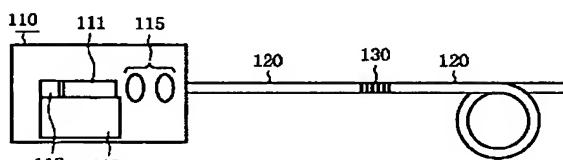
【図7】



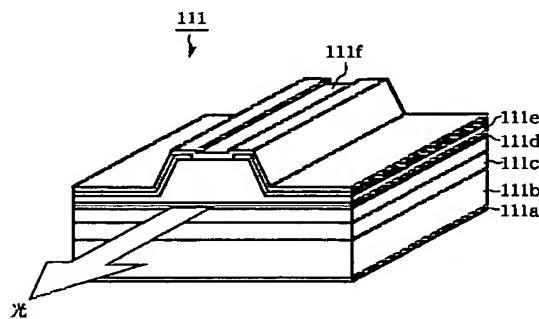
(b)



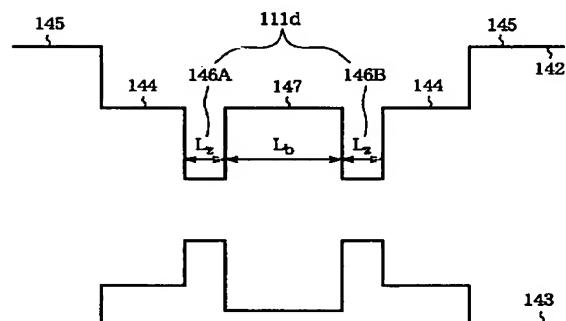
【図11】



【図12】



【図13】



【手続補正書】

【提出日】平成14年11月7日(2002.11.7)

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正内容】

【0041】

$$\Gamma \cdot G = \alpha + (0.5/L) \cdot \ln [1/(R_f \cdot R_r)] \quad (1)$$

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正方法】変更

【補正対象項目名】0043

【補正内容】

【0043】

$$\Gamma \cdot G_{fg} = \alpha + (0.5/L) \cdot \ln [1/(R_{eff} \cdot R_r)] \quad (2)$$

フロントページの続き

(72)発明者 藤田 豪

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 吉田 保明

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 鳴原 君男

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 八田 竜夫

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 JJ05 KK07 PP07

YY17

5F073 AA43 AA73 AA74 AA83 AB25

AB28 AB29 BA01 BA09 EA03

FA06

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.